

AGRO-ECOLOGICAL ASPECTS OF MINING AND USE OF SAPROPEL

I. Tsiz*, S. Khomych, V. Satsiuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES

AM
СМ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

World freshwater reserves make up 2.5% of the world's total water supply. Ukraine ranks one of the last in Europe in terms of fresh water reserves per capita. For the normal functioning of the ecological system, the population should not use all water supplies, but only the annually renewed runoff. Lakes are the most accessible sources of water for economic needs. Due to the processes of eutrophy, lakes turn into swamps. These processes have been particularly intense in recent decades due to human economic activity. In world practice, the use of a wide range of methods for the restoration of freshwater lakes is known. The most radical and effective is the removal of accumulated deposits. But this method is at the same time the most expensive. You can increase the efficiency of this method by using the mining deposits in various industries. The most valuable type of freshwater lake sediment is organic sapropel. Research on the effect of sapropel fertilizers on soil fertility has been conducted for many years. Analysis of such studies shows that the effect of sapropel on soil fertility is significant and complex. It is manifested in the impact on all components of soil fertility. Especially bright effect is observed on sandy and loamy soils where its powerful influence on structure and mechanical structure of soil is shown. Therefore, sapropel is generally an environmentally friendly organic and mineral raw material that improves and enhances soil structure, as well as is a quality source of humus replenishment. These factors together ensure the preservation and improvement of soil fertility. Thus, the restoration of «dead» and silted lakes should be carried out by removing sediments. Further use of sapropel deposits for soil fertilization provides the formation of a closed ecological cycle with the support of a rational cycle of substances within a specific ecological system. This approach creates the conditions for the transition to a more advanced biogeocenotic basis of nature management.

Key words:

freshwater lake,
lake restoration,
bottom sediments,
use of sapropel,
soil fertility

Article history:

Received 09.11.2021

Accepted 05.12.2021

***Corresponding author:**

tsizigor@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi47.625

To cite this article:

Tsiz, I., Khomych, S., & Satsiuk, V. (2021). Agro-ecological aspects of mining and use of sapropel. *Agricultural Machines*, 47, 37-45. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.625>

УДК 631.4

**АГРО-ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДОБУВАННЯ
ТА ВИКОРИСТАННЯ САПРОПЕЛЮ****І.Є. Цизь*, С.М. Хомич, В.В. Сацюк***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна***АНОТАЦІЯ**

Світові запаси прісної води складають 2,5% загального водного ресурсу. Україна за запасами прісної води, які припадають на одну людину, посідає одне з останніх місць у Європі. Для нормального функціонування екологічної системи населення повинно використовувати не усі запаси води, а лише щорічно відновлюваний стік. Озера є найбільш доступними джерелами води для господарських потреб. Через процеси евтрофії озера перетворюються на болота. Особливо інтенсивно ці процеси відбуваються в останні десятиріччя через господарську діяльність людини. У світовій практиці відоме застосування різних методів для відновлення прісноводних озер. Найбільш кардинальним та ефективним методом є видалення накопичених відкладів. Але такий метод є у той же час і найбільш затратним. Підвищити ефективність вказаного методу можна шляхом використання добутих відкладів у різних галузях виробництва. Найбільш цінним видом відкладів прісноводних озер є органічний сапропель. Протягом багатьох років ведуться дослідження із впливу сапропелевих добрив на родючість ґрунту. Аналіз цих досліджень показує, що вплив сапропелю на родючість ґрунту є значним та комплексним. Особливо яскравий ефект спостерігається на піщаних і супіщаних ґрунтах, де проявляється його потужний вплив на структуру та механічний склад ґрунту. Тому сапропель загалом є екологічно чистою орґано-мінеральною сировиною, яка вдосконалює і покращує структуру ґрунту, а також є якісним джерелом поповнення гумусу. Ці фактори у сукупності забезпечують збереження та покращення родючості ґрунту. Таким чином, відновлення «мертвих» і замулених озер та використання добутих сапропелевих покладів забезпечує формування замкнутого екологічного циклу із підтримкою раціонального кругообігу речовин у межах конкретної екологічної системи. Цей підхід створює умови до переходу на більш досконалу біогеоценотичну основу природокористування.

Ключові слова:

прісноводне озеро,
відновлення озер,
донні відклади,
використання сапропелю,
родючість ґрунту

Історія публікації:

Отримано 09.11.2021

Затверджено 05.12.2021

***Автор для листування:**

tsizigor@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi47.625

Цитувати цю статтю:

Цизь, І. Є., Хомич, С. М., & Сацюк, В. В. (2021). Агро-екологічні аспекти добування та використання сапропелю. *Сільськогосподарські машини*, 47, 37-45. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.625>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Наявні у загальному доступі статистичні дані свідчать, що світові запаси прісної води складають 2,5% загального світового запасу води, із яких лише 0,013% – у водних ресурсах. Також відомо, що найбільш доступними джерелами чистої води для господарських потреб є озерні водойми. У той же час Україна за запасами прісної води, які припадають на одну особу, посідає одне з останніх місць у Європі. Тому для України особливо важливою є проблема боротьби з евтрофією озер, оскільки гідросфера єдина і в подальшому процеси забруднення можуть поширитися на ґрунтові води та підземні води. Для нормального функціонування екологічної системи населення повинно використовувати не усі запаси води, а лише щорічно відновлюваний стік. У розвинутих країнах (США, Німеччина, Швейцарія, країни Балтії і інших) постійно здійснюється низка заходів з покращання використання водних ресурсів, серед яких важливе місце належить охороні та відновленню природних водойм, як джерел питної води і одного з найважливіших компонентів системи регулювання стоку.

За даними *Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (1982)* евтрофікацією визначено «надмірне збагачення поживними речовинами води, що призводить до стимулювання сукупності небажаних симптоматичних змін, серед яких небажане розмноження водоростей та інших водних макрофітів, погіршення якості води, проблеми з її смаком і запахом та загибель риби. Кожна з цих змін істотно заважає використанню людьми водних ресурсів» (*Kimberly et al., 2016*).

Завдячуючи властивості самоочищення озера можуть лишатися чистими протягом тисячоліть. Однак, ця властивість не є безмежною. За значних перевантажень води забруднюючими речовинами редуценти не справляються із ними, що призводить до накопичення важкоокислюваних речовин на дні водоймища і погіршення якості води.

Процес евтрофії тісно пов'язаний із накопиченням органічних речовин в озерах. Зараз зрідка можна зустріти озера з чистою прозорою водою, з низьким розвитком органічних форм життя – це оліготрофні водойми. Значно поширенішими є озера з

багатим поживним середовищем для рослинних і тваринних організмів, що у них мешкають. Це евтрофні озера. І останньою стадією є так звані «мертві» озера, тобто озера, які перетворилися або перебувають на шляху перетворення в болото.

У будь-якому озері відбувається накопичення органічних речовин, оскільки внаслідок відмирання водорості постачають у воду озера азот та фосфор, які є поживним середовищем для нового їх покоління. Крім того, фосфор стимулює ріст фітопланктону, який, у свою чергу, виділяє речовини, що стимулюють ріст водоростей. Таким чином, через прогресуючий характер цих процесів відбувається невідворотне перетворення оліготрофних водойм в евтрофні. Але в цьому випадку визначальну роль відіграє період цих перетворень. Поряд із накопиченням мінеральних та органічних речовин в озерах спостерігаються процеси розкладення. Органічні речовини розкладаються до CO_2 та H_2O . Мінеральні речовини та фосфати виводяться у вигляді малорозчинних сполук (*Лопотко, 1978*). Надходження речовин зі стоком може частково перекиватися їх виносом, якщо озеро проточне, а за достатньої глибини ці процеси можуть бути взаємооберненими. У таких випадках природна евтрофія може відсуватися на сторіччя і навіть тисячоліття.

Господарська діяльність людини (осушення боліт, вирубування лісів, збільшення сільськогосподарських стоків та промислових стоків) прискорює процеси евтрофії. Так, мілководні озера заповнюються відкладами і перетворюються на болота на очах одного-двох поколінь людей. Серед факторів, що впливають на розвиток процесів евтрофії озер, найбільше значення мають надходження зі стічними водами фосфору та органічних речовин. Це призводить до збагачення водойм багатьма елементами живлення і прогресуючого розвитку в озерах рослинних організмів, а особливо синьо-зелених водоростей.

Геохімічний фосфор відноситься до числа мало поширених елементів земної кори і тому кількість фосфору, що вививається з породи водою у межах водозабору, не є достатньою, щоб викликати евтрофію озера. Крім того, хімічний фосфор порівняно легко виводиться із води, осідаючи у вигляді малорозчинного

$Fe_2(PO_4)_3$ (Лопотко, 1978). Підвищений вміст фосфору у воді озера може бути пов'язаний тільки з надходженням сільськогосподарських та побутових стоків.

Нераціональне використання внесених доз мінеральних добрив сприяє винесенню поживних речовин із ґрунту стічними водами і надходження їх до озер. Так, за даними науковців надходження у стоках фосфору з удобрюваних полів у 300 разів перевищує його надходження із ділянок вкритих лісом. Ще більші дози фосфору містяться в стоках, які надходять із тваринницьких ферм. Так, в рідині, яка надходить з відгодівельних майданчиків, у 75 разів більше фосфору, ніж у стоках дощової води з оброблюваних полів (Шевчук, 1996).

Серйозну небезпеку для водойм становлять синтетичні миючі засоби, які містять фосфати. У деяких пральних порошках кількість розчинного у воді триполіфосфату досягає 40%. Сполуки фосфору, потрапляючи у водойми, спричиняють бурхливий розвиток синьо-зелених водоростей. Тому, в усьому світі ведуться активні пошуки заміників фосфатів у миючих засобах. Синьо-зелені водорості відіграють суттєву роль в евтрофії озер. Вони мають низку біологічних властивостей, які дозволяють їм отримувати перемогу у боротьбі за існування з іншими формами життя. Так, синьо-зелені водорості чудово себе почувають у воді системи охолодження атомних реакторів. В евтрофних водоймах літом можна спостерігати величезні колонії цих водоростей, тобто так зване «цвітіння» води. Від водойми, де розвиваються синьо-зелені водорості, надходить неприємний запах. Таким чином, постає питання у відшуканні шляхів вирішення посталої проблеми. До найбільш ефективних шляхів необхідно віднести відпрацювання замкнених екологічних циклів із підтримкою раціонального кругообігу речовин у межах конкретної екологічної системи. Цей підхід створює умови для переходу на більш досконалу біогеоценологічну основу природо-користування. Саме в рамках цієї системи доцільно розглядати проблему відновлення «мертвих» і замулених озер та господарське використання накопичених відкладів, оскільки лише за цього підходу можуть бути отримані результати із найвищим еколого-економічним ефектом.

Мета дослідження – аналізування і систематизування досліджень та практичного досвіду у галузі відновлення прісноводних озер, а також розкриття механізму впливу сапропелю на родючість ґрунтів.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Аналізування та систематизування науково-технічної інформації з питань відновлення прісноводних озер та використання сапропелю для збереження та покращення родючості ґрунтів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

У світовій практиці відомі різні способи відновлення прісноводних озер. У аналітичному дослідженні (Kimberly et al., 2016) запропоновано способи відновлення озер розділити на три групи: 1 – біологічна та екологічна інженерія; 2 – фізична інженерія; 3 – хімічна дія.

До біологічної та екологічної інженерії відносяться (Kimberly et al., 2016): біоманіпуляція (випас водоростей великим зоопланктоном, наприклад Дафнією); плавуче оздоровлення болотних угідь, яке передбачає використання таких первинних механізмів видалення поживних речовин, як мікробна трансформація та поглинання, асиміляція макрофітів, поглинання в органічні та неорганічні субстратні матеріали, випаровування; видалення макрофітів.

Фізична інженерія передбачає (Kimberly et al., 2016): гіполімнетичне видалення (видалення води насиченої поживними речовинами); розведення та промивання (додавання води із низьким вмістом поживних речовин); аерацію та оксигенізацію гіполімнетичних шарів води (насичення киснем найглибших і найхолодніших шарів води в озері); штучну циркуляцію (ця циркуляція використовується для запобігання або усунення термічного розшарування); днопоглиблення та видалення осаду (забезпечує контроль як водоростей, так і макрофітів, а також може обмежувати внутрішнє надходження поживних речовин, зокрема збагачений шар осаду або відкладень).

Хімічна дія передбачає (Kimberly et al., 2016): інактивацію та ізоляцію фосфору (внутрішнє надходження фосфору може контролюватися додаванням солей алюмінію у

товщу води); окислення осаду (окислення осаду за рахунок посиленої денітрифікації призводить до поліпшення комплексоутворення із залізом); використання альгіцидів (зазвичай, використовується в попередніх системах санації озер та водосховищах, що страждають від біомаси водоростей).

Також у дослідженні (Kimberly et al., 2016) проаналізовані конкретні приклади реалізації кожного із описаних способів відновлення озер та економічні затрати пов'язані із цим. На основі наведених у дослідженні (Kimberly et al., 2016) матеріалів можна зробити висновок, що у світовій практиці відновлення прісноводних озер шляхом днопоглиблювальних робіт та видалення осаду не набуло поширення. Основним стримуючим фактором у цьому плані є висока вартість виконуваних робіт. Проте, у деяких країнах проводяться успішні дослідження, які дозволяють забезпечити відновлення прісноводних озер саме способом днопоглиблення, завдяки отриманню додаткового економічного ефекту від використання добутих донних відкладів. Ці дослідження були започатковані у другій половині ХХ сторіччя. На сьогоднішній час над цією проблемою активно працюють науковці Білорусі, Латвії, Литви, України, РФ,

Болгарії (Baksiene et al., 2015; Koutev et al., 2004; Stankevica et al., 2013; Stankevica et al., 2014; Stankevica et al., 2016; Žvironaitė et al., 2002). У вказаних дослідженнях більше уваги приділяється впливу сапропелю на родючість ґрунту загалом та зміну його агрофізичних властивостей зокрема (Bakšienė & Ciūnys, 2012; Baksiene et al., 2011; Baksiene et al., 2015; Koutev et al., 2004; Stankevica et al., 2016), впливу на здатність мінімізувати процес міграції шкідливих елементів із ґрунту до рослин (Stankevica et al., 2013; Stankevica et al., 2014), а також загальному оцінюванню покладів (Žvironaitė, 2002).

Ураховуючи зазначене вище, можна зробити висновок, що найбільш кардинальним і ефективним методом боротьби з евтрофією озер є днопоглиблення та видалення донних відкладів, що, у свою чергу, вимагає розроблення ефективних способів добування та утилізації сапропелів.

Способи та засоби добування сапропелів необхідно розробляти та застосовувати із урахуванням стадії евтрофії озера, його розмірів та типу сапропелю, господарської цінності прибережних земель. Схема раціонального обігу речовин в агрогідрологічній системі представлена на рис.



Рис. – Схема раціонального обігу речовин в агрогідрологічній системі (Дідух & Цизь, 2005)

Сапропелі давно привертають увагу вчених і практиків як цінна органічна сировина для використання в різноманітних галузях господарства. Особливо це стосується аграрного сектору. Розроблені технології виробництва на основі сапропелів поживних ґрунтів та компостів, органо-мінеральних добрив, біостимуляторів росту, кормових добавок для відгодівлі тварин. Перспективним є використання сапропелів у будівництві, геології, парфумерії, металургії та медицині.

Розглянемо значення використання сапропелю для збереження та відтворення родючості ґрунтів. Визначальними чинниками у втраті показників родючості ґрунтів є процеси: зменшення запасів гумусу та мінеральних макро- та мікроелементів, недотримання правил обробітку ґрунту та нехтування внесенням добрив (особливо органічних) тощо; забруднення ґрунту шляхом накопичення в ньому різних токсичних елементів, спричинене недотриманням науково-обґрунтованих сівозмін, надлишком раніше внесених хімічних засобів тощо; процеси ерозії, що викликані сільсько-господарською діяльністю людини (винесення дрібнозему з урожаєм коренебульбоплодів: внаслідок недосконалої технології збирання урожаю з кожного гектара ріллі щороку виноситься понад 700 кг поживних речовин) тощо (Назаренко, 2006; Охорона ґрунтів, 2019). Дослідження науковців у цьому напрямі засвідчують, що в результаті вказаних процесів за 110 років (1881–1991 рр.) у ґрунтах України вміст гумусу знизився майже на третину (з 4,2% до 3,2%). Оновлені дані вказують на зниження цього показника до 3,0% і нижче (Шевчук, 1996; Назаренко та ін., 2006; Охорона ґрунтів, 2019).

Потенціал сапропелів як альтернативного джерела органічної речовини для збереження та відтворення родючості ґрунтів загалом по Україні становить 140 млн т (у перерахунку на 60% вологість). Поклади цього ресурсу у водоймах Волинської області складають 65 млн т (Шевчук, 1996).

У Поліській частині Волинської області розташовані переважно дерново-підзолисті ґрунти, які характеризуються низькою природною родючістю, тому внесення добрив, особливо органічних, є визначальним фактором в отриманні високих урожаїв. Тому, саме для цього регіону великим резервом

підвищення родючості ґрунтів є використання в якості органічних добрив сапропелів (Шевчук, 1996).

Сапропелі – це природні органічні відкладення, які складаються переважно із відмерлих залишків водних організмів і продуктів їх розкладу: водоростей, риб, тварин, комах, а також інших решток та решток, які потрапляють до води із суші. Характерною відмінністю сапропелевих покладів від торфу є їх формування за недостатньої кількості кисню або за повної його відсутності (Ліштван та ін., 1991; Лопотко, 1978; Лопотко та ін., 1992; Хохлов та ін., 1986; Шевчук, 1996; Sorterberg, 1976; Stankevica et. al., 2016). Таким чином, вирішення посталої проблеми відновлення евтрофних озер може забезпечити значний позитивний ефект за рахунок використання сапропелів у сільськогосподарському виробництві загалом та у рослинництві зокрема. Особливу увагу необхідно звернути на використання сапропелів з метою збереження та відновлення родючості ґрунтів.

Взаємозв'язок факторів, які формують родючість ґрунту, Грінченко О.М. зобразив шестикутником, у кожному з кутів якого розташовано один із чинників: гумус; гранулометричний склад; будова профілю і щільність; хімічний склад; структура; водно-повітряний і температурний режими; рослинність і мікробіологічна активність. Усі чинники взаємопов'язані та у сукупності і взаємодії забезпечують показники родючості ґрунту (Назаренко та ін., 2006).

Особливістю озерних сапропелів є вплив на всі фактори формування родючості ґрунту. Тому проаналізуємо на основі відомих досліджень механізм впливу сапропелів на зазначені вище фактори родючості ґрунту. Як уже зазначалося, сапропелі є продуктом розкладу органічних решток, рослин, тварин і інших речовин, а також до їх складу входять гумусові частинки, які потрапляють до водойм з суші через вітрову та водну ерозії. Завдяки цьому, під час внесення в ґрунт, сапропель є цінним матеріалом, що доповнює, вдосконалює та відтворює складову органічної частини якісних гумусових речовин. Сапропель забезпечує швидку активізацію процесу утворення гумусу в ґрунті.

До складу сапропелю входять практично всі макро- та мікроелементи живлення рослин,

а також ферменти, антибіотики, вітаміни, що і забезпечує формування певного резерву поживних та фізіологічно активних речовин. Безпосередній вміст органічної речовини у сапропелі знаходиться у межах від 15% до 94,3% на суху речовину та залежить від його типу (Шевчук, 1996). У цьому середовищі продовжують протікати біо-фізико-хімічні процеси перетворення органічних залишків у специфічні органо-мінеральні сполуки. Ці сполуки, перебуваючи у капілярно-колоїдному згуслому стані, забезпечують формування гумусу ґрунтом (Назаренко та ін., 2006).

Для формування оптимальних показників родючості ґрунту найбільш важливою є грудкувато-зерниста його структура (Мольчак та ін., 1998). Формування цієї структури ускладнене на піщаних та супіщаних ґрунтах зони Полісся. Для цього потрібні своєрідні «клеючі» елементи, які забезпечать формування агрегатів різної величини, форми та якісного складу. За дослідженнями науковців відомо, що у фракціях сапропелю в діапазоні розмірів частинок 0,01–0,001 мм знаходиться найцінніша його частина – окиси заліза, алюмінію, марганцю, каолін, фосфати і інші, які мають цементуючі властивості, пластичність, липкість та здатність набухати. Ці властивості сапропелю у поєднанні із ґрунтом, особливо піщаним та супіщаним, забезпечують формування грудкувато-зернистої структури (Мольчак та ін., 1998; Шевчук, 1996). Природа цього явища також підтверджується дослідженнями, згідно яких завдяки вмісту мулистої фракції формується зв'язність ґрунту. Частинки, сформовані у вологому стані із всіх груп механічних елементів, після висихання розсипаються від найменшого навантаження. Лише у випадку досягнення подрібнення частинок до розміру 0,001 мм відбувається стрибкоподібне зростання зв'язності (Мольчак та ін., 1998; Шевчук, 1996; Томин & Фомин, 1964).

Під час внесення сапропелю в ґрунт миттєво підвищується вміст широкої гамми хімічних мікроелементів та органічних сполук. Серед цих елементів особливу роль у формуванні гранулометричного складу ґрунту відіграють хімічні мікроелементи, що містяться у сапропелі (азот, кальцій, кремній, фосфор, калій, цинк, молібден, кобальт, залізо), а також органічні сполуки та біологічно активні речовини (α - та β -каротин,

хлорофіл, пігменти, білки, вуглеводи, вітаміни В, С, Е, амінокислоти, гумінові кислоти, фульвокислоти тощо) (Ліштван та ін., 1981).

У розрізі наведеного фактору родючості ґрунту необхідно звернути увагу на коагуляційну здатність сапропелю. Процес коагуляції проявляється у взаємодії двох колоїдних частинок, які мають протилежні заряди, що і забезпечує їх взаємне з'єднання у пористі зерна (коагуляцію колоїдів гумусу та колоїдів сапропелю). Утворені зерна, у свою чергу, формують пастоподібну речовину, що дуже важливо для формування структури ґрунту. Сапропель сприяє формуванню пористих та вологостійких агрегатів ґрунту. Утворені у цей спосіб агрегати стійкі до впливу води та силової дії під час механізованого обробітку ґрунту (Мольчак та ін., 1998). Отже, сапропель, завдяки своїй дисперсній будові, забезпечує формування структури ґрунту, що, у свою чергу, відіграє значну роль у формуванні сприятливих умов для рослинної і мікроорганічної активності ґрунту, сприяє розвитку мікроорганізмів та у сукупності формує складову родючості.

Структура та механічний склад ґрунту мають безпосередній вплив на будову його профілю, а, отже, на щільність та пористість. Schuurman J., Mesweeney K., Jansen I., Медведєв В.В. та інші зазначають, що у результаті переущільнення ґрунтів зменшується вміст вологи та елементів живлення в одиниці об'єму, погіршується проростання насіння, обмежується ріст коренів, зменшується доступність вологи та забезпеченість повітрям. Сприятливі умови для сільськогосподарських культур складаються тоді, коли простір пор гармонійно розподілений і містить достатню кількість вологи та повітря. Саме із збільшенням в ґрунті органічних добрив формується середовище структурних крупних і дрібних пор (Назаренко та ін., 2016).

Щільність ґрунту змінюється залежно від мінералогічного та гранулометричного складу ґрунту, його структурного стану, вмісту органічної речовини, обробітку тощо (від 0,8–1,2 г/см³ – для верхніх горизонтів та до 1,3–1,6 г/см³ – для нижніх). Дослідженнями Меєровського А.С., Виновця Г.В. встановлено, що внесення сапропелів та сапропелегноєвих компостів у співвідношенні (1:1) у середніх та максимальних дозах помітно

знижує щільність ґрунту на глибинах 20, 25 та 30 см. Дослідження проводилися на дерново-підзолистих ґрунтах. Науковці обґрунтовують це зниження механічною розпушувальною дією добрив, яка зумовлена нижчою щільністю їх твердої фази та нижчою об'ємною масою (*Лопотом та ін., 1983*). У той же час зменшення щільності забезпечує зростання пористості ґрунту.

Позитивний вплив сапропелів та сапропелевих добрив на водно-повітряний і температурний режим виявлено у дослідженнях багатьох вчених. Під час внесення сапропелю в ґрунт спостерігається сприятлива його дія на водно-фізичні властивості, зокрема збільшення повної та капілярної вологості, вологоутримуючої здатності та вологості верхнього горизонту. У працях (*Ліштван та ін., 1981; Шевчук, 1996; Baksienė et. al., 2011; Bakšienė & Cīņnys, 2012*) зазначено, що величина покращення водно-фізичних властивостей ґрунту залежить як від кількості внесених сапропелевих добрив, так і від їх якості (хіміко-механічного складу).

Позитивну дію сапропелевих добрив на водний режим ґрунту також виявили у своїх експериментальних дослідженнях Томин Є.І., Фомин А.І., Bakšienė E., Cīņnys A., (*Фомин, 1969; Томин & Фомин, 1964; Baksienė et. al., 2011; Bakšienė & Cīņnys, 2012*). У результатах досліджень *Шевчука (1996)* встановлено, що внесення органічного сапропелю на супіщаних ґрунтах у нормі 60–80 т/га забезпечує зростання шпаруватості та аерації ґрунту, а також спостерігається зростання продуктивної вологості в 1,6–2,0 рази у шарі 0–30 см.

Вміст газів у ґрунті тісно пов'язаний із його гранулометричним складом та ступенем структурованості. Експериментальними дослідженнями встановлено, що внесення сапропелю у кількості 50–60 т/га сприяє підвищенню шпаруватості та аерації ґрунту, тобто повітроємності міжагрегатних пор (*Лопотко та ін., 1992; Лопотом та ін., 1983*).

Процес утворення гумусу ґрунту за своєю природою є біохімічним процесом, при цьому виняткову роль відіграють присутні мікроорганізми. Саме завдяки внесенню сапропелю значно підвищується вміст мікроорганізмів у ґрунті, адже у кожному грамі сухої речовини сапропелю міститься в межах від 5 тис до 11 млн мікроорганізмів. Це, в свою чергу, також чинить позитивний вплив

на водну та повітряну проникність ґрунту, збільшує його шпаруватість, покращує структуру та обмін мікроелементів (*Лопотко та ін., 1992; Лопотом та ін., 1983; Baksienė et. al., 2015; Žvironaitė et. al., 2002*).

Результати експериментальних досліджень показують, що внесення 80 т сапропелю із вологістю 60% за своєю прямою дією та післядією еквівалентне внесенню 60 т підстилкового гною. Використання сапропелів як основи для компостів із гноем ВРХ, пташиним послідом, вапном, аміачною водою тощо, а також у складі гранульованих органіко-мінеральних добрив, у вигляді гумінових препаратів помітно збільшує урожайність та зменшує об'єми внесення (*Ліштван та ін., 1981; Лопотом та ін., 1983; Хохлов та ін., 1986; Шевчук, 1996; Baksienė et. al., 2015; Bakšienė & Cīņnys, 2012*).

Сапропель та добрива на його основі відрізняються пролонгованістю дії. Позитивний вплив цих добрив проявляється у багаторічній післядії елементів органіко-мінерального комплексу та забезпеченні позитивного балансу родючості за умови застосування науково-обґрунтованих сівозмін (*Ліштван та ін., 1981; Хохлов та ін., 1986; Шевчук, 1996; Bakšienė & Cīņnys, 2012; Žvironaitė et. al., 2002*).

ВИСНОВКИ

Підсумовуючи необхідно зазначити, що найбільш кардинальним та ефективним методом відновлення «мертвих» та замулених прісноводних озер є днопоглиблення та фізичне видалення накопичених відкладів. Відомі дослідження підтверджують доцільність використання добутих відкладів (сапропелю) у сільськогосподарському виробництві. Вплив сапропелю на родючість ґрунту є значним та комплексним. Особливо яскравий ефект спостерігається на піщаних і супіщаних ґрунтах, де яскраво проявляється його вплив на структуру та механічний склад ґрунту. Сапропель є екологічно чистою органіко-мінеральною сировиною, яка вдосконалює і покращує структуру ґрунту, а також є якісним джерелом поповнення гумусу. Ці фактори у сукупності забезпечують стійке зростання родючості ґрунту. Переведення сільськогосподарського виробництва на бігеоценотичну основу з метою максимального наближення до законів функціонування

природних екосистем дозволить відновити «мертві» і замулені озера та отримати додатковий прибуток у формі збереженої та покращеної родючості ґрунтів.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Baksiene, E., Asakaviciute, R., Romanovskaja, D., Tripolskaja, L., & Razukas, A. (2015). The influence of lake sediments on sandy loam soil properties and crop yield. *Romanian Agricultural Research*, 32.
- Bakšienė, E., & Ciūnys, A. (2012). Dreging of lake and application sapropel for improvement of light soil properties. *Journal of Environment Engineering and Landscape Management*, 20(2), 97-103.
- Baksiene, E., Razukas, A., & Romanovskaja, D. (2011). The application of sediments for the improvement of sandy loam soil properties. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9(2), 601-606.
- Koutev, V., Niebaum, G., & Sinaj, S. (2004). Investigations on the fertilizing capacity of bottom sediments from eutrophicated lake. In *Nutrient and carbon cycling in sustainable plant-soil systems. Sustainable organic waste management for environmental protection and food safety* (pp. 105-108).
- Lewtas, K., Roy, D., & Paterson, M. (2016). Manitoba prairie lakes: In-lake remediation treatment summary. International Institute for Sustainable Development (IISD). Retrieved September 6, 2021, from <https://www.iisd.org/publications/manitoba-prairie-lakes-lake-remediation-treatment-summary>
- Stankevica, K., Burlakovs, J., & Klavins, M. (2013). Organic rich freshwater sediments (sapropel) as potential soil amendment for recultivation of areas contaminated with heavy metals. In *GeoConference on Water Re-sources, Forest, Marine and Ocean Ecosystems* (pp. 595-601). <https://doi.org/10.5593/SGEM2013/BC3/S13.016>
- Stankevica, K., Vincevica-Gaile, Z., & Klavins, M. (2014). Influence of sapropel (gyttja) on trifolium pratense seeds germination in presence of copper. In *SGEM 2014 GeoConference Proceedings on Soils, Forest Ecosystems, Marine & Ocean Ecosystems*, 2, 175-182.
- Stankevica, K., Vincevica-Gaile, Z., & Klavins, M. (2016). Freshwater sapropel (gyttja): Its description, properties and opportunities of use in contemporary agriculture. *Agronomy Research*, 14(3), 929-947.
- Sorterberg, A. (1976). Yield and phosphorus uptake. *New Ideas and Technologies in Utilization Peatlands and Peat*, 5, 7-14.
- Žvironaitė, J., Ciūnys, A., & Gerdžiūnas, P. (2002). Ežerų valymo produkto – sapropelio panaudojimo galimybių tyrimai. *Aplinkos Inžinerija*, 10(4), 168-175.
- Дідух, В. Ф., & Цизь, І. Є. (2005). Особливості сільськогосподарського виробництва зони Полісся (*Features of agricultural production in the Polissya zone*). *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, 35(1), 96-100.
- Лиштван, И. И., Лопотко М. З., Бамбалов И. И. и др. (1981). *Проблемы использования сапропелей в народном хозяйстве (Problems of using sapropels in the national economy)*. Минск: Наука и техника.
- Лопотко, М. З. (1978). *Озера и сапропель (Lakes and sapropel)*. Минск: Наука и техника.
- Лопотко, М. З., Евдокимова, Г. А., & Кузьмицкий, П. Л. (1992). *Сапропели в сельском хозяйстве (Sapropels in agriculture)*. Москва: Наука и техника.
- Лопотом, М. З., Евдокимова, Г. А., Кузьмицкий, П. Л., & Букач, О. М. (1983). *Сапропелевые удобрения (Sapropel fertilizers)*. Минск: Наука и техника.
- Мольчак, Я. О., Мельничук, М. М., Андрощук, І. В., & Заремба, В. М. (1998). *Деградація ґрунтів та шляхи підвищення їх родючості (Soil degradation and ways to increase their fertility)*. Луцьк: Надтир'я.
- Назаренко, І. І., Польчина, С. М., Дмитрук, Ю. М. та ін. (2006). *Ґрунтознавство з основами геології (Soil science with the basics of geology)*. Чернівці: Книги XXI.
- Охорона ґрунтів (*Soil protection*). (2019). В *Зб. наук. пр. ДУ «Держґрунтохорона». Моніторинг ґрунтів як невід'ємна частина моніторингу довкілля: матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф.* (С. 190).
- Томин, Е. Д., & Фомин, А. И. (1964). Сапропель, его добыча и использование в сельском хозяйстве (*Sapropel, its mining and use in agriculture*). Ярославль: Верхневолжское книжное изд.
- Фомин, А. Н. (1969). *Технология добычи местных удобрений (Technology of mining of local fertilizers)*. Москва: Высшая школа.
- Хохлов, В. И., Фомин, А. И., & Шилова, Н. А. (1986). *Применение сапропелей на удобрение (Application of sapropels on fertilizer)*. Москва: Россельхозиздат.
- Шевчук, М. Й. (1996). *Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання (Sapropels of Ukraine: stocks, quality and prospects of use)*. Луцьк: Надтир'я.